doi:10.13866/j.azr.2019.01.09

陇东苹果园生草复合体系土壤水分季节动态①

曹 铨， 王自奎， 沈禹颖
（兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室；兰州大学农业农村部草牧业创新重点实验室；
兰州大学草地农业教育部工程研究中心；兰州大学草地农业科技学院，甘肃 兰州 730020）

摘 要：陇东黄土高原半干旱区降雨年际变化较大，且年内分布不均，果园种草实践的优化不仅有助于减少干旱季节牧草对果园土壤水分过度消耗，还会促进其生态涵养效应的更好发挥。为探究种植不同牧草对旱作果园土壤水分季节动态的影响。试验设置4个处理，分别为在苹果园行间种植鸭茅、白三叶和混播牧草（鸭茅和白三叶）及清耕果园。结果表明：春季轻度干旱条件下，种植鸭茅和豆—禾混播牧草会降低果园土壤水分，但种值白三叶对果园土壤水分影响不显著；在夏季经历长期干旱之后，种植牧草显著降低了果园各土层的水分含量；整个生长季种植鸭茅、混播牧草和白三叶果园的蒸散量分别比清耕果园高45.3 mm、55.4 mm和0.7 mm，由此可知，在陇东黄土高原半干旱区苹果园内，不宜种植鸭茅等高耗水的禾本科植物，但可以种植白三叶等耗水少的豆科植物来改善果园环境。该研究结果对于陇东黄土高原旱作果园生草实践的改进具有一定的指导意义。

关键词：苹果园；种草；土壤水分；蒸发蒸腾；黄土高原

黄土高原是我国两大苹果优势产区之一。近年来，该区苹果种植面积和产量大幅提高、产值效益不断增加、产业化水平稳步提升，苹果产业已成为当地农民增收致富和实现全面小康的支柱产业[1]。然而，随着种植规模的扩大和种植年限的增加，传统果园地面清耕（果园地面通过除草剂或中耕除草的方法控制杂草）管理模式凸显出一系列环境问题，例如土壤污染、有机质含量降低、微生物多样性减少等[1-3]。研究和实践表明，果园生草（于果树行间或全园种植牧草）模式具有改善土壤结构与肥力、增加农业系统固碳、压制杂草、减少农药施用量等生态服务功能[4-7]。在黄土高原推广苹果园生草种植模式一方面可提升果园的生态效益，另一方面可生产牧草、提高土地的利用效率，符合国家粮饲兼顾的农业发展战略。但是，黄土高原苹果生产多以旱作为主，生草对果园土壤水分耗散过程的影响效应仍不确定，导致该模式的大范围推广还存在诸多争议。所以，探究种草对苹果园土壤水分季节动态的影响，对于果园种草模式优化及其推广应用都具有重要的指导意义。目前，已经有一些研究探讨生草对黄土高原旱作苹果园土壤水分的影响效应，但是由于研究方法、研究区域及研究对象的不同，其结论不尽一致[8-11]。有些研究认为，种草可以改善土壤保水性能、提高土壤水分含量；有些研究认为，种草可促进果园水分的消耗，不利于果树生长。很少有研究综合考虑时间尺度上降雨的变异和空间尺度上土层之间的水分运移对果园水分消耗—补给动态的影响。所以，本研究的目的是在测定不同果园种草复合体系生育期土壤水分动态的基础上，探讨种草影响果园土壤水分消耗—补给规律的内在原因，以期为黄土高原苹果园种草模式的优化和推广提供一定的参考。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于2015年在兰州大学庆阳黄土高原草地农业试验站开展。试验站位于甘肃省庆阳市西峰区什社乡（35°40′N，107°51′E，海拔1 297 m）。研究区多年（1981—2014年）平均降雨量527.6 mm，多年平均气温9.2 ℃、湿度61.8%、风速2.2 m·s^{-1}，无霜期150～190 d。试验期间气象资料包括太阳辐射、大气最高和最低温度、最大和最小相对湿度、

① 收稿日期：2018-05-11； 修订日期：2018-09-01
基金项目：国家科技支撑计划项目（2014BAD14B006）；国家自然科学基金（51609112）项目；教育部长江学者创新团队项目（IRT17R50）资助
作者简介：曹铨（1989-），男，博士研究生，主要从事果园-牧草系统水分平衡的研究．E-mail：caoq16@lzu.edu.cn
通讯作者：王自奎．E-mail：wzk@lzu.edu.cn

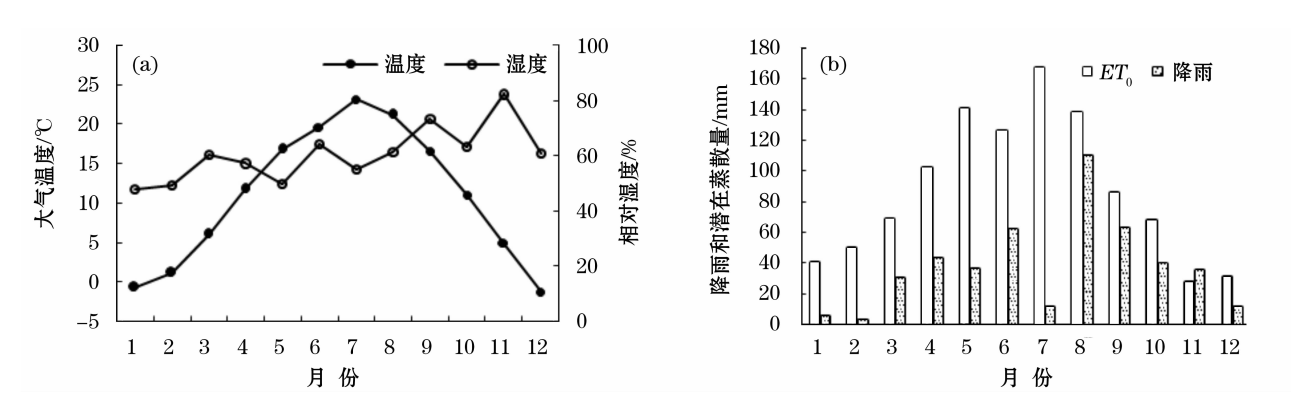


图 1 2015 年试验点大气温度、湿度、降雨和潜在蒸散等基本气象要素变化趋势

Fig. 1 Dynamic change of air temperature, air relative humidity, rainfall and potential evapotranspiration at the experiment site

表 1 不同土层土壤理化性质

Tab. 1 Soil physiochemical properties in different soil layers

土层 /cm	有机质 /(g·kg^{-1})	全氮 /(g·kg^{-1})	全磷 /(g·kg^{-1})	全钾 /(g·kg^{-1})	碳氮比	容重 /(g·cm^{-3})	田间持水量 /%
0~10	10.58	1.23	0.17	7.26	4.99	1.39	24.05
10~20	10.30	1.24	0.26	7.54	4.83	1.44	23.45
20~30	8.69	0.85	0.09	7.67	5.93	1.36	25.94
30~60	6.17	0.67	0.08	7.59	5.32	1.35	25.98
60~90	8.10	0.70	0.09	7.91	6.72	1.39	25.63
90~120	5.23	0.57	0.09	7.26	5.35	1.43	25.95

2 m 高处风速及降雨量等用试验田旁 50 m 处的自动气象站(Vantage Pro2, Davis Instruments, USA)测定。大气温度、湿度、降雨和潜在蒸散等基本气象要素的变化趋势如图 1 所示。试验点土壤类型为壤土,牧草播种前 0~120 cm 土层主要理化性质见表 1。

1.2 试验设计与测定

试验选择位于试验站内的 11 a 生半矮化秦冠果园(行距 4 m,株距 4 m)。试验设置 4 个处理,分别在果园种植鸭茅(*Dactylis glomerata*)、白三叶(*Trifolium repens*)、牧草组合处理(鸭茅和白三叶以 2∶1 混合)及清耕。每个处理小区面积均为 480 m^2(包括 6 个长 20 m 的果树行),所有的牧草于 2014 年 7 月播种。鸭茅和白三叶的播种量均为 15 kg·hm^{-2},组合处理的播种量为 22.5 kg·hm^{-2}。行间生草带边缘距树干 70 cm,草带宽 260 cm。试验期牧草刈割 3 次,覆盖于树盘下。

从牧草返青开始,每隔 15 d 左右用烘干法测定生草带的土壤水分。为降低林冠截留降雨对土壤水分的影响,本研究取样点设置在距苹果树主干 200 cm 处,0~30 cm 土层每 10 cm 取一个土样,30~120 cm 土层每 30 cm 取一个土样,土壤贮水量 W 根据下式计算:

$$W=\theta_g \cdot \gamma \cdot h \quad (1)$$

式中:θ_g 为土壤质量含水量(%);γ 为土壤容重(g·cm^{-3});h 为土层深度(cm)。果园的土壤水分蒸散量可根据水量平衡方程计算:

$$ET_a=P+I+C_R+W_1-W_2-R-D_P \quad (2)$$

式中:ET_a 为果园水分的实际蒸散量,包括计算时段内的果树和牧草蒸腾及土壤蒸发;W_1 为计算时段开始的土壤贮水量;W_2 为计算时段结束的土壤贮水量;P 为降雨量;R 为径流量;I 为灌溉量;C_R 为地下水补给量;D_P 为土壤水分深层渗漏量。由于该地区为雨养农业区,试验中不进行灌溉,试验地平坦,故 I 和 R 均可假设为零;地下水深度在 50 m 以下,所以 C_R 和 D_P 可假设为零,在试验期间深层渗漏量为零,所以公式(2)简化为:

$$ET_a=P+W_1-W_2 \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 土壤剖面水分含量变化规律

从图 2 可知,果树生育期降雨量少,大于 10 mm

的降雨仅有 9 次,其中大于 20 mm 的降雨仅有 2 次,全生育期累计降雨为 353.6 mm。

从图 3 可知,2015 年春季降雨充沛,3 月和 4 月共降雨 73 mm,所以 5 月初各处理各土层水分含量较高且没有明显的差异(图 3a)。5 月降雨量仅为 36 mm,降雨量小于系统水分的耗散量,所以果园土壤水分持续下降。6 月初的少量降雨增加了表层的土壤水分,但深层土壤水分依然较低。至 6 月 6 日,种植鸭茅和混播牧草的处理土壤剖面 0～80 cm 含水率明显低于其他 2 个处理,鸭茅和混播牧草 0～20 cm 土层平均含水量分别比清耕处理低 22.9% 和 24.1%,20～60 cm 土层分别比清耕处理低 34.1% 和 29.1%。白三叶生育前期的蒸腾耗水速率较小,所以,种植白三叶小区的土壤水分略高于清耕处理。

7 月是整个生长季大气蒸发强度和果树需水量最高的时期,但有效降雨仅为 11 mm 左右。长期干旱导致土壤水分急剧下降,种植牧草处理水分的下降幅度显著大于清耕处理,表层 0～20 cm 土壤水分接近凋萎系数,4 种处理各土层平均土壤含水量依次为:清耕 > 白三叶 > 混播牧草 > 鸭茅。由图 3d 可知,降雨使各处理各土层水分含量大幅上升,但种植牧草处理深层的土壤水分依然显著低于清耕处理。经历 8 月下旬一段干旱时期后,果园所有土层水分明显下降,深层下降幅度较小且处理间差异变小(图 3e)。9 月下旬至 10 月下旬也经历了长时期的干旱,但这一阶段果树需水量较少,土壤水分下降幅度较低,且在 10 月下旬降雨后得到恢复(图 3f)。从土壤剖面水分变化特征可知,在降雨季节,土壤水分含量随土层深度的增加呈先降低再逐渐增加的趋势,而在干旱期,随土层深度增加,土壤含水量逐渐增加。出现这种现象的原因主要是水分蒸发发生在土壤表层[12],降雨后和干旱后期对表层土壤水分影响较大,造成了表层土壤水分含量的变化差异明显[13]。较少降雨量对表层土壤水分的影响较小,一般只能改变 0～20 cm 土层的土壤含水量,只有降雨量较多时,才会引起果园深层土壤水分含量的变化[13]。同时,长期干旱条件下,土壤稳定层对土壤活跃层水分具有补偿作用[10],导致稳定层土壤水分含量降低。

2.2　土壤贮水量变化动态

果园整个生育季节不同种草处理下 0～120 cm 土层贮水量变化动态如图 4 所示。0～60 cm 土层土壤贮水量随降雨入渗补给和蒸散消耗而呈现出较大波动,尤其 0～10 cm 土层变化最为显著。各土层 4—5 月雨水补给较少,土壤水分不断消耗,6 月随降雨量的增加,土壤水分逐渐增高。但 7 月气候干旱持续时间长,土壤水分呈显著下降趋势,进入 8 月,随着秋季降雨的增加,各土层贮水量逐渐恢复。但在干旱时期,生草区土壤贮水量明显低于清耕区,这种趋势在土壤深层表现不明显。在整个生长季,土壤贮水量最低出现在 7 月底,清耕处理各土层的贮水量均高于生草区,0～20 cm 土层贮水量生草处理比清耕处理低 18.7% ～46.0%。同时,在牧草生长季,不同牧草对土壤水分含量的影响也不同,0～60 cm 土层,鸭茅和混播牧草对土壤贮水量影响比白三叶更大,主要表现为干旱时期混播牧草和鸭茅处理土壤贮水量的下降趋势明显比清耕处理和白三叶处理更加明显。

2.3　果草复合系统蒸散耗水动态

由表 2 可知,在整个观测期降雨量为 353.6 mm,鸭茅、混播牧草、白三叶和清耕处理下果园蒸散耗水量分别为430.1 mm、440.2 mm、385.5 mm和

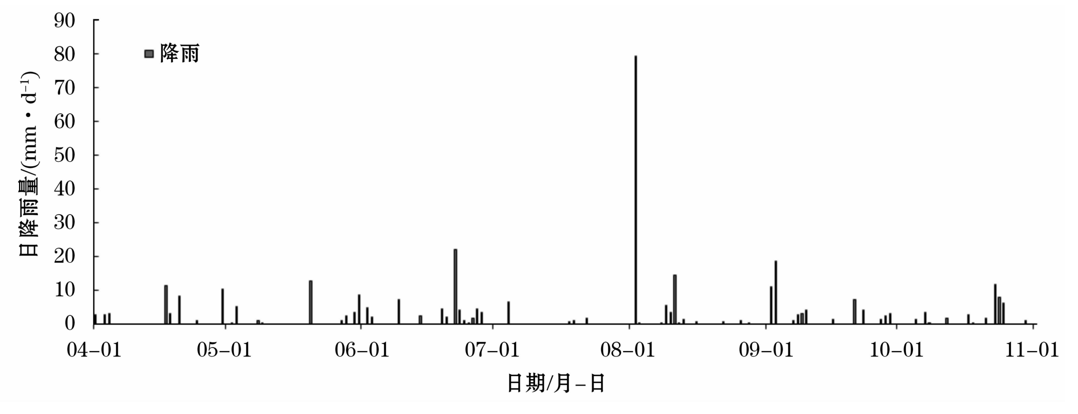


图 2　2015 年试验点果树生长季每日降雨分布

Fig. 2　Distribution of daily rainfall in growing season of apple trees in 2015

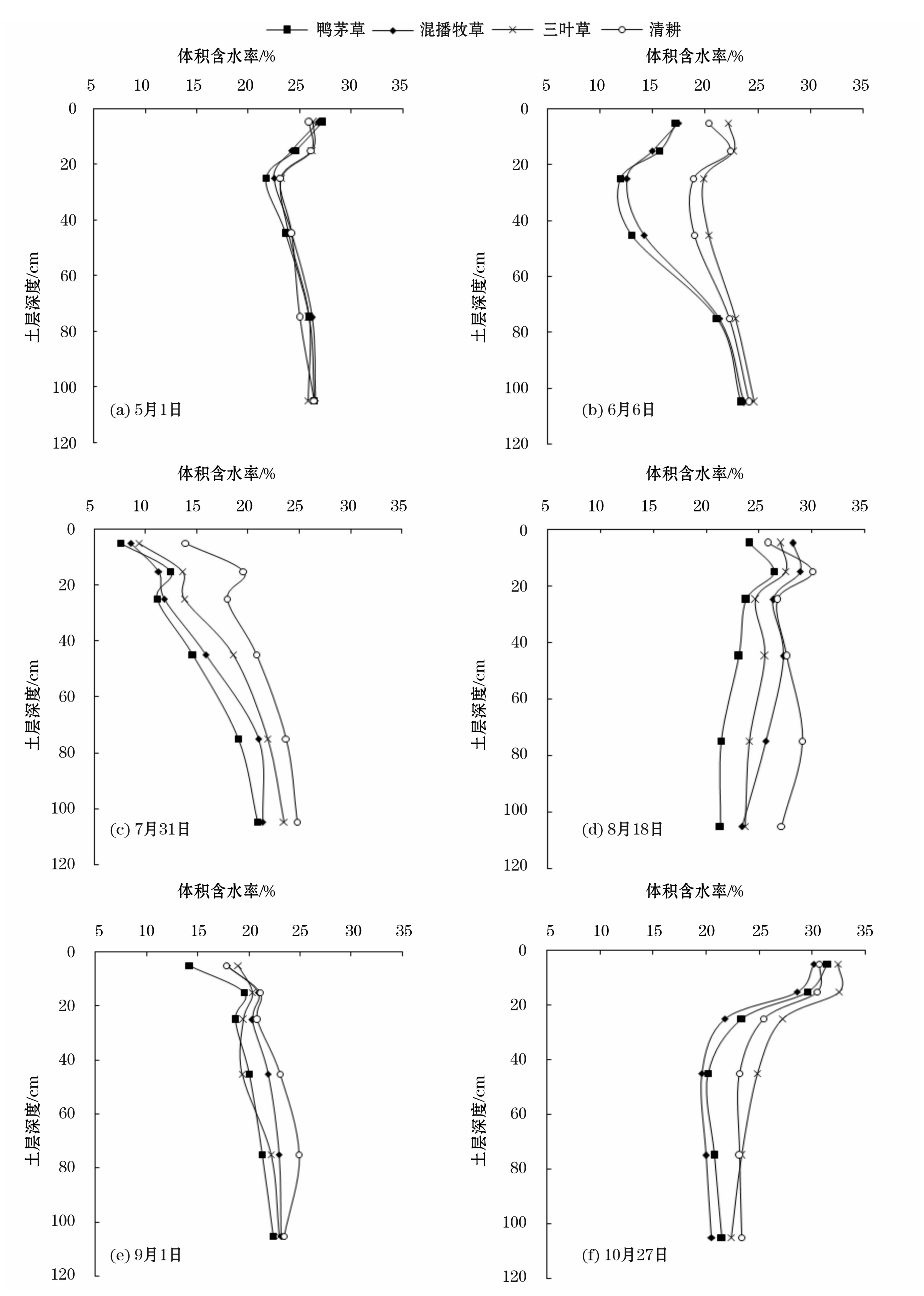


图 3　典型时期不同牧草处理下土壤剖面含水率的分布

Fig. 3　Distribution of soil moisture content along soil profile under different treatments in typical periods

384.8 mm，分别为降雨量的 1.22 倍、1.24 倍、1.09 倍和 1.09 倍，土壤贮水均出现不同程度的降低。4 月 10 日至 6 月 6 日，生草处理下土壤蒸散量均高于降雨量，鸭茅和混播牧草处理的蒸散量比清耕处理

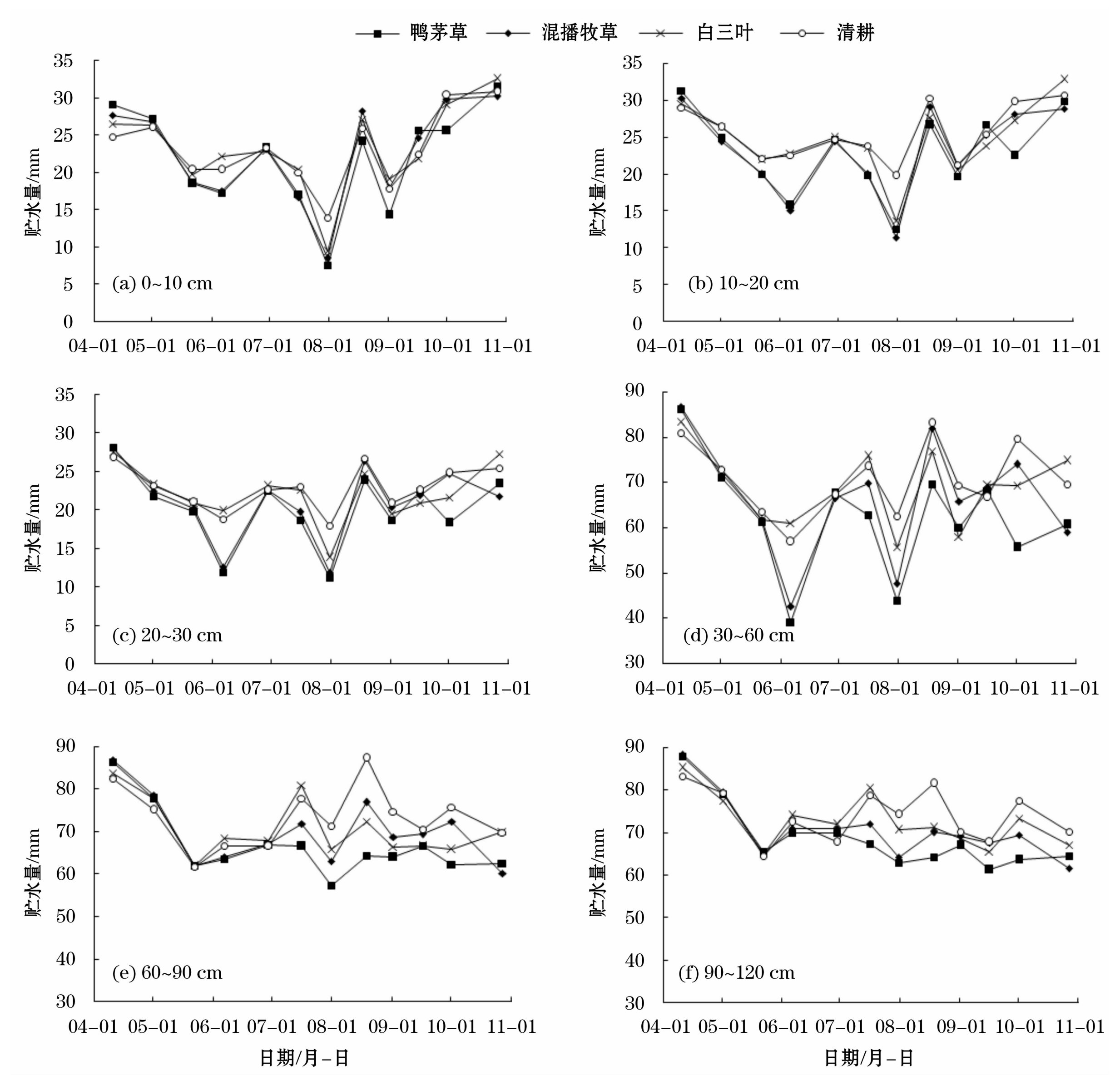


图4　4个处理下不同土层土壤贮水量随时间的变化动态

Fig. 4　Dynamic change of soil water storage in different soil layers under four treatments

表2　苹果园—牧草复合系统蒸散耗水变化

Tab. 2　Evapotranspiration of apple orchard and forage grass intercropping system

日期	降水量	鸭茅		混播牧草		三叶草		清耕	
		贮水量	蒸散量	贮水量	蒸散量	贮水量	蒸散量	贮水量	蒸散量
04-10—06-06	77.6	-131.4	209.0	-125.4	203.0	-67.8	145.4	-69.8	147.4
06-07—07-31	65.5	-22.2	87.7	-16.0	81.5	-39.5	105.0	2.1	63.4
08-01—09-16	151.2	75.4	75.8	70.9	80.3	39.3	112.0	15.6	135.7
09-17—10-27	59.3	1.7	57.6	-16.1	75.4	36.1	23.2	20.9	38.4
合计	353.6	-76.5	430.1	-86.6	440.2	-31.9	385.5	-31.2	384.8

高约50 mm,而三叶草处理的蒸散量与清耕处理相当。6月7日至7月31日,土壤水分亏缺较为严重,果树的蒸腾受到抑制,且鸭茅和混播牧草处理的抑制程度比白三叶更为严重。8月1日至9月16日,阴雨天气较多,大气蒸散发能力较7月低,各生草处理的蒸散耗水小于清耕处理,说明生草处理在多雨季节能够起到保水的作用。9月17日至10月27日降雨较少,也经历了长时期的干旱,所以,生草

处理蒸散发耗水强度大于清耕。就整个生育期而言,不管是干旱时期还是多雨时期,白三叶对果园土壤水分的影响较小。

3 讨论

牧草对果园水分的影响主要在土壤表层,降雨后土壤水分含量较高时,生草区表层土壤水分含量要明显高于清耕,这主要是因为生草增加了果园地表覆盖,降低了地表蒸发,增强了果园土壤蓄水能力[14]。但在干旱季节,生草又明显降低了土壤水分含量,果园出现了明显的水分竞争效应,这一结果,与前人对生草果园土壤水分研究结果一致[15-16]。同时,不同牧草对土壤水分含量的影响也会不同,造成差异的原因一方面是因为不同牧草对水分的利用效率不同,另一方面也是由于不同牧草对地面遮盖程度引起的水分蒸散不同。4—6 月随着果树萌发、开花及叶片的迅速扩展,复合体系对水分的需求增加,而该阶段试验区降雨相对较少,导致在该时期内水分出现亏缺现象。本试验中,7 月为观测期最干旱的时期,干旱使深层土壤含水量降低,尤其鸭茅生草区和混播牧草生草区的深层土壤含水量减少更为明显。说明在干旱情况下,生草更容易降低果园土壤水分。不同牧草耗水量存在差异与不同牧草根系类型和发育特性有关。在整个生长期,鸭茅和混播牧草对土壤贮水量影响较白三叶大,这主要是因为鸭茅和混播牧草在果园内具有较强的适应性,地上生物量较高,对水分的消耗要多于白三叶。而在降雨较多的季节,因为鸭茅和混播牧草较白三叶更能滞留水分,减少了水分渗漏以及地表蒸发。

果草复合体系与清耕果园土壤水分的耗散特征不同,主要原因如下:一方面牧草的蒸腾作用会加剧土壤水分的散失。另一方面,生草增加了地面覆盖,可以降低土壤地表水分的无效蒸发,同时有助于拦截降水,截留地表径流,对果园土壤含水量具有一定的调蓄作用[17]。多雨季节,清耕果园土表蒸发剧烈,生草可大幅度减少地表的太阳辐射进而降低土壤蒸发,起到保水作用[18];而在少雨季节,清耕果园土表蒸发较为微弱,生草果园牧草的蒸腾量和地表蒸发量大于清耕果园地表蒸发量,所以,生草的争水效应明显[19]。意大利南部橄榄园生草后,与清耕相比,杂草促进降水的入渗,大幅度提高深层土壤水分[20]。湖南油桃园的研究结果证明,种植画眉草后能有效截留雨水,提高土壤水分含量,但在高温干旱的季节会降低土壤水分[21],这与本研究结果一致。Huang 等[22]的研究指出,虽然植被覆盖有利于降低地表土壤蒸发,增加土壤水分入渗,但是作物的生长需水可能会抵消减少的蒸发量和增加的土壤水分。Palese 等[20]指出,生草使秋冬雨季过后橄榄园 100~200 cm 土壤水分提高 17%~45%,能够有效缓解春季和夏季的干旱。基于以上研究结果可知,采取合理的果园管理措施,定期刈割牧草,通过控制牧草的耗水量来减缓水分耗散[23],对于果园土壤水分的保持具有积极作用。全球气候变暖不仅影响着大气水分循环要素明显变化,也加剧了干旱区水循环过程和水资源的不确定性[24],为实现果草复合系统资源利用效率最大化,提高系统产值,今后仍需加强不同的果草复合系统下土壤水分蒸散特征方面的研究。

4 结论

(1) 在春季轻度干旱的条件下,种植鸭茅和豆—禾混播牧草会降低果园土壤水分,种植白三叶对果园土壤水分影响不显著;在夏季经历较长时期干旱以后,不论种植禾本科牧草、豆科牧草还是豆—禾混播牧草都会显著降低果园土壤水分,不利于果树生长。

(2) 整个生长季鸭茅、混播牧草和白三叶处理下蒸散耗水量分别为 430.1 mm、440.2 mm 和 385.5 mm,而清耕果园的耗水量为 384.8 mm,由此可知,在陇东黄土高原半干旱区苹果园内不宜种植鸭茅等高耗水的禾本科植物,但可以种植白三叶等耗水少的豆科植物来改善该地区清耕果园模式造成的环境问题。

参考文献(References):

〔1〕 Liu Y, Gao M, Wu W, et al. The effects of conservation tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau, China〔J〕. Soil and Tillage Research, 2013, 130(12): 7-12.

〔2〕 张丽娜,李军,范鹏,等. 黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征〔J〕. 生态学报, 2013, 33(6): 1 907-1 915. 〔Zhang Li'na, Li Jun, Fan Peng, et al. Distribution of soil N P K nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1 907-1 915.〕

〔3〕 张义,谢永生,郝明德,等.不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响〔J〕.应用生态学报,2010,21(2):279－286.〔Zhang Yi,Xie Yongsheng,Hao Mingde,et al. Effects of different patterns surface mulching on soil properties and fruit trees growth and yield in an apple orchard〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(2):279－286.〕

〔4〕 Sun H,Shao L,Liu X,et al. Determination of water consumption and the water-saving potential of three mulching methods in a jujube orchard〔J〕. European Journal of Agronomy,2012,43:87－95.

〔5〕 李发林,郑域茹,郑涛,等.果园生草栽培水土保持效应研究进展〔J〕.中国农学通报,2013,29(34):34－39.〔Li Faling,Zheng Yuru,Zheng Tao,et al. Research progress of cover crop in Chinese orchard〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2013,29(34):34－39.〕

〔6〕 高小叶,张兴兴,朱建国,等.生草栽培对果园面源污染的控制——三种牧草的比较研究〔J〕.草业学报,2015,24(2):49－54.〔Gao Xiaoye,Zhang Xingxing,Zhu Jianguo,et al. A comparison of the effect of three grass species on controlling non-point pollution in orchard〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2015,24(2):49－54.〕

〔7〕 Qian X,Gu J,Pan H,et al. Effects of living mulches on the soil nutrient contents,enzyme activities,and bacterial community diversities of apple orchard soils〔J〕. European Journal of Soil Biology,2015,70:23－30.

〔8〕 惠竹梅,李华,周攀,等.行间生草对葡萄园土壤水分含量及贮水量变化的影响〔J〕.草业学报,2011,20(1):62－68.〔Hui Zhumei,Li Hua,Zhou Pan,et al. Effects of cover cropping system on soil moisture content and water storage in a vineyard〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2011,20(1):62－68.〕

〔9〕 李会科,张广军,赵政阳,等.黄土高原旱地苹果园生草对土壤贮水的影响〔J〕.草地学报,2007,15(1):76－81.〔Li Huike,Zhang Guangjun,Zhao Zhengyang,et al. Effects of growing different herbages on soil water-holding of a non-irrigated apple orchard in the Weibei area of the Loess Plateau〔J〕. Acta Agrestia Sinica,2007,15(1):76－81.〕

〔10〕 李同川,李会科,郭宏,等.渭北黄土高原果园生草地旱季土壤水分特征研究〔J〕.水土保持研究,2014,21(1):29－33.〔Li Tongchuan,Li Huike,Guo Hong,et al. Soil moisture characteristics of different herbages on soil water in apple orchard in the area of Weibei Plateau in dry season〔J〕. Research of Soil and Water Conservation,2014,21(1):29－33.〕

〔11〕 张露,王益权,石宗琳,等.干旱季节渭北果园土壤水分时空变化特征〔J〕.干旱地区农业研究,2012,30(1):83－89.〔Zhang Lu,Wang Yiquan,Shi Zongling,et al. Characteristics of spatio-temporal variation of soil moisture in Weibei orchards in dry seasons〔J〕. Agricultural Research in the Arid Areas,2012,30(1):83－89.〕

〔12〕 Ritchie J T. Model for predicting evaporation from row crop with incomplete cover〔J〕. Water Resource Research,1972,8(5):1 204－1 213.

〔13〕 Fu B,Wang J,Chen L,et al. The effects of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau,China〔J〕. Catena,2003,54(1):197－213.

〔14〕 曹铨,沈禹颖,王自奎,等.生草对果园土壤理化性状的影响研究进展〔J〕.草业学报,2016,25(8):180－188.〔Cao Quan,Shen Yuying,Wang Zikui,et al. Effects of living mulch on soil physical and chemical properties in orchards:A review〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2016,25(8):180－188.〕

〔15〕 高茂盛,廖允成,李侠,等.不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响〔J〕.中国农业科学,2010,43(10):2 080－2 087.〔Gao Maosheng,Liao Yuncheng,Li Xia,et al. Effects of different mulching patterns on soil water-holding capacity of non-irrigated apple orchard in the Weibei Plateau〔J〕. Scientia Agricultura sinica,2010,43(10):2 080－2 087.〕

〔16〕 赵政阳,李会科.黄土高原旱地苹果园生草对土壤水分的影响〔J〕.园艺学报,2006,33(3):481－484.〔Zhao Zhengyang,Li Huike. The effects of interplant different herbage on soil water in apple orchards in the area of Weibei Plateau〔J〕. Acta Horticulturae Sinica,2006,33(3):481－484.〕

〔17〕 李海防,卫伟,陈利顶,等.黄土高原林草地覆盖土壤水量平衡研究进展〔J〕.水土保持研究,2013,20(1):287－293.〔Li Haifang,Wei Wei,Chen Liding,et al. Progress in the study of soil water balance under forest and grassland covers on the Loess Plateau〔J〕. Research of Water Conservation,2013,20(1):287－293.〕

〔18〕 王艳廷,冀晓昊,吴玉森,等.我国果园生草的研究进展〔J〕.应用生态学报,2015,26(6):1 892－1 900.〔Wang Yanting,Ji Xiaohao,Wu Yusen,et al. Research progress of cover crop in Chinese orchard〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2015,26(6):1 892－1 900.〕

〔19〕 Monteiro A,Lopes C M. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal〔J〕. Agriculture,Ecosystems & Environment,2007,121(4):336－342.

〔20〕 Palese A M,Vignozzi N,Celano G,et al. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard〔J〕. Soil and Tillage Research,2014,144:96－109.

〔21〕 徐明岗,文石林,高菊生.红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应〔J〕.水土保持学报,2001,15(1):77－80.〔Xu Minggang,Wen Shiling,Gao Jusheng. Effects of different forage planting model on soil and water conservation and environments in red hilly regions〔J〕. Journal of Soil and Water Conservation,2001,15(1):77－80.〕

〔22〕 Huang J,Wang J,Zhao X,et al. Effects of permanent ground cover on soil moisture in jujube orchards under sloping ground:A simulation study〔J〕. Agricultural Water Management,2014,138:68－77.

〔23〕 Alcántara C,Pujadas A,Saavedra M. Management of cruciferous cover crops by mowing for soil and water conservation in Southern Spain〔J〕. Agricultural Water Management,2011,98(6):1 071－

1 080.

〔24〕 姚俊强,杨青,毛炜峄,等.西北干旱区大气水分循环要素变化研究进展〔J〕.干旱区研究,2018,35(2):269－276.〔Yao Junqiang,Yang Qing,Mao Weiyi,et al. Progress of study on variation of atmospheric water cycle factors over arid region in Northwest China〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(2):269－276.〕

Seasonal Variation of Soil Moisture Content in Apple Orchard and Grass Intercropping System in Longdong

CAO Quan, WANG Zi-kui, SHEN Yu-ying

(*State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystem*;*Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation*,*Ministry of Agriculture and Rural Affairs*;*Engineering Research Center of Grassland Industry*,*Ministry of Education*;*College of Pastoral Agriculture Science and Technology*,*Lanzhou University*,*Lanzhou* 730020,*Gansu*,*China*)

Abstract: Precipitation in the semiarid area of the Loess Plateau has a large inter-annual variety,and is also unevenly distributed every year. Improvement of forage grass covering pattern could not only reduce the water consumption in drought season,but also promote the ecological conservation benefits. The present work was conducted to investigate the effects of different grass species on soil water distribution in apple orchard. The field experiment was carried out at Qingyang Grassland Agriculture Experiment Station of Lanzhou University under four treatments of different grass species, i. e. *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens* and mixed planting of these two species. Results showed that to plant orchard grass and the mixture could reduce soil moisture content in different layers in orchard under slight drought in spring,but the effect of planting *T. repens* on soil moisture content was not significant. During the period with moderate or severe drought in summer,the soil moisture content under forage grass mulching treatment was significantly lower compared with that in the clear tilled orchard. The values of evapotranspiration of the planted *D. glomerata*,mixed planting and *T. repens* orchard were 45.3,55.4 and 0.7 mm higher respectively than that of the clean tilled plots in growing season,but the effect of planted *T. repens* on evapotranspiration in growing season was not significant. Therefore,it is practical to plant the species with low water consumption (such as *T. repens*) for improving the orchard environment instead of the species with high water consumption (such as *D. glomerata*) on the semiarid Loess Plateau.

Key words: apple orchard; grass planting; soil moisture content; evapotranspiration; the Loess Plateau